

Sonderdruck aus

Heinz Fassmann / Thomas Glade (Hg.)

Geographie für eine Welt im Wandel

57. Deutscher Geographentag 2009 in Wien

Mit 140 Abbildungen

V&R unipress

Vienna University Press

ISBN 978-3-89971-912-3

ISBN 978-3-86234-912-8 (E-Book)

Quantifizierung von Ökosystemparametern in Afrika mit Satellitenfernerkundung. Möglichkeiten, Probleme und Limitierungen

1 Hintergrund

Den Beginn der Fernerkundung der Erde mit Satelliten markiert der Start des ersten militärischen Corona-Satelliten durch die CIA und das US-Militär im Jahr 1959. Ihm sollten bis 1972 weitere folgen (CAMPBELL 2006). Die Satelliten des Corona-Programms lieferten panchromatische Fotos, also keine Multispektraldaten und vor allem keine kontinuierlichen Daten. 1960 folgte mit TIROS-1 der erste, noch experimentelle Wettersatellit, aus dem die NOAA-AVHRR-Satelliten hervorgingen. Im Jahr 1973 beginnt mit dem Satelliten ERTS-1 (ab 1975 Landsat-1) die Ära der hoch aufgelösten Erdbeobachtung mit Multispektralsensoren. ERTS-1 hatte zwar nur vier Kanäle und eine Auflösung von 79 m x 79 m, aber die Entwicklung ging über Landsat-TM mit 7 Kanälen und einer Auflösung von 30 m x 30 m im nicht-thermalen Spektrum dann insbesondere ab den 90er-Jahren des letzten Jahrhunderts rasant weiter, beispielsweise mit Systemen wie MODIS und ENVISAT. Gegenwärtig sind etwa 90 Erdbeobachtungssatelliten im Einsatz, Wettersatelliten mit einer vergleichsweise schlechten räumlichen, aber einer hohen zeitlichen und spektralen Auflösung, kommerzielle, sehr hoch auflösende Satelliten und Radarsatelliten. Einen gewissen Einblick in die kaum überschaubare Datenmenge liefert eine Datenbankabfrage mit dem Warehouse Inventory Search Tool (WIST) der NASA (NASA o. J.), über das Rohdaten und Satellitenprodukte gesucht werden können. Für eine Teilregion im südlichen Afrika (siehe Abb. 1) konnten allein in dieser Datenbank fast 5000 Landsat-ETM-Szenen für den Zeitraum Juni 1999 bis Mai 2003 und etwa 4000 ASTER-Szenen für April 2000 bis März 2001 ermittelt werden.

Aus den Rohdaten der Satelliten erstellen Betreiber und Nutzer höherwertige Produkte für bestimmte Fragestellungen. Die bekanntesten sind wahrscheinlich die Zeitreihen des Normalized Differenced Vegetation Index (NDVI) des Systems NOAA-AVHRR, die seit den 1980er-Jahren vorliegen, aber auch das digitale Geländemodell SRTM, das auf Radardaten basiert. Der Vorteil dieser Produkte liegt darin, dass sie nicht nur von Fernerkundungsexperten, sondern auch von

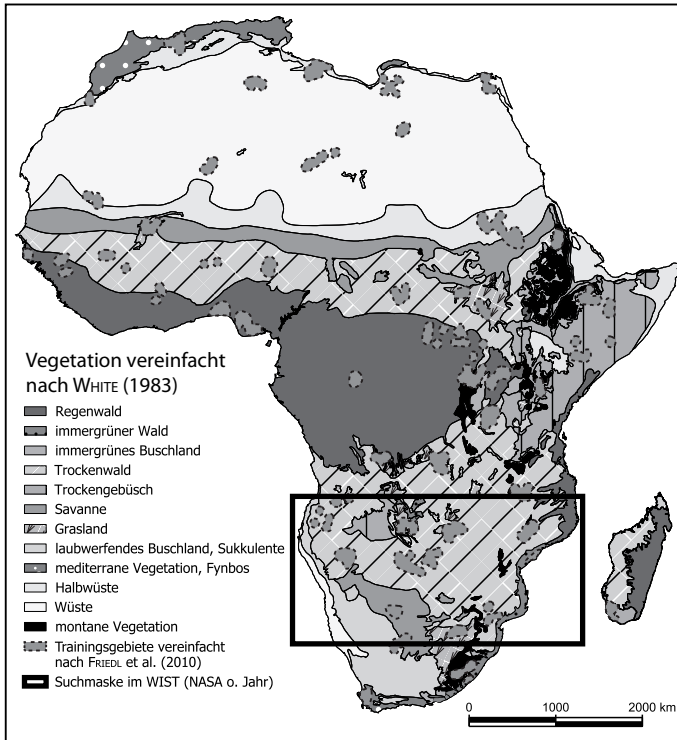


Abb. 1*: Trainingsflächen zur Klassifizierung der Landklassen des MODIS-Produkts v05 in Afrika (nach FRIEDL et al. 2010) und Beispielsuchmaske im WIST

Wissenschaftlern anderer Disziplinen, von Behörden und anderen Nutzern interpretiert und weiterverwendet werden können. Besonders in den letzten Jahren nahm dabei die kostenfreie Verfügbarkeit von Satellitenbildprodukten rapide zu, wobei nicht mehr einfache Berechnungen wie der NDVI, sondern die systematische Ableitung von Ökosystemparametern eine zunehmende Rolle spielen. Insgesamt werden beispielsweise aus MODIS-Daten derzeit 66 Produkte erstellt, die eine räumliche Auflösung von 250 m bis 6000 m haben und in Zeitschritten von fünf Minuten bis zu einem Jahr verfügbar sind. Erwähnt seien etwa der Blattflächenindex (LAI), das Land Cover und das Active Fire Product (LP DAAC 2009). Genannt sei zudem noch das GLOBCOVER 2009-Produkt, das auf dem MERIS-Sensor des ENVISAT-Satelliten basiert (ESA 2011).

Die inzwischen verfügbaren Zeitreihen von Rohdaten und Satellitenbildprodukten machen es möglich, für zahlreiche Regionen der Erde rezente und historische Veränderungen der Landoberfläche zu erfassen. Die schnelle Entwicklung neuer Sensoren führt aber auch dazu, dass ständig neue Produkte entwickelt und verstärkt Fragestellungen mit den neuen Daten bearbeitet wer-

den und weniger auf Archive zurückgegriffen wird. Neue Produkte erfordern dabei neue Algorithmen, die entwickelt und validiert werden müssen. Da die meisten Produkte den Anspruch haben, möglichst große Regionen abzudecken, sind Testgebiete zur Validierung der Algorithmen auch weltweit nötig. Der Validierungsstatus von MODIS-Produkten zeigt allerdings, dass eine global homogene Abdeckung kaum gegeben ist. Zwar sind auf allen Kontinenten und in allen Biomen Testflächen vorhanden, allerdings in sehr unterschiedlicher Dichte und zudem räumlich konzentriert (siehe Abb. 1, 2a). Betrachtet man die Anzahl der Testflächen und die Zahl der Pixel bezogen auf die Gesamtflächen der jeweiligen Landbedeckungsklassen, besteht ebenfalls ein Ungleichgewicht (siehe Abb. 2b). In Afrika fällt auf, dass einige Landbedeckungsklassen deutlich unterrepräsentiert sind (siehe Abb. 1). Dies gilt vor allem für tropischen Regenwald, aber auch für Savannenökosysteme und dabei insbesondere auch für Trockenwälder. Bei letzteren konzentrieren sich die Testgebiete im Norden Botswanas, im Süden und Westen Zambias und im Süden der DR Kongo. Die trockenen Varianten des Trockenwaldes, die in Namibia und Zimbabwe ausgebildet sind (SAMIMI & KRÜGER 2006), sind kaum repräsentiert. In Namibia, das in diesem Artikel näher betrachtet wird, liegen die Testgebiete im Norden der Etosha-Pfanne. Dieser Raum ist nach WHITE (1983) zwar als Trockenwald ausgewiesen, zeichnet sich aber durch eine ausgesprochene Heterogenität der Oberflächenklassen aus, mit landwirtschaftlich genutzten Flächen, Trockenwaldresten und Grasland, was eine repräsentative Validierung zusätzlich erschwert. Dazu kommen saisonal wasserführende Tiefenlinien, die sogenannten Oshanas. Deshalb stellt sich die Frage, ob die Region als Testgebiet für ein Produkt in MODIS-Auflösung geeignet ist.

Trotz der diskutierten Probleme ist die Entwicklung neuer Systeme notwendig, und es ist auch eine ständige Verbesserung und Anpassung der Algorithmen zu beobachten, sodass die Qualität der Produkte stetig verbessert wird (FRIEDL et al. 2010). FRIEDL et al. (2010) diskutieren allerdings auch die bestehenden Probleme. So liegt nach der Fehlermatrix für das neueste MODIS Land Cover-Product (v05) die Gesamtgüte bei 74,8 %, aber einige Klassen haben deutlich schlechtere Werte (FRIEDL et al. 2010, 177). Der Kappa-Koeffizient beträgt zwar 0,72, aber die Producer's Accuracies für Savannenklassen, Busch- und Grasland betragen nur zwischen 34,2 % und 74,2 %, mit einem mittleren Fehler von 50,1 %. Zudem ist nicht klar, ob die Fehlermatrix auf unabhängigen Testflächen basiert. Der Vorschlag von FRIEDL et al. (2010, 180), zur Verbesserung des Klassifikationsergebnisses beispielsweise die Klasse Woody Savanna und Savanna zusammenzufassen, würde zu einem bedeutenden Informationsverlust führen und ist deshalb als Lösung nicht akzeptabel.

Umweltveränderungen im subsaharischen Afrika gehen nämlich signifikant mit Veränderungen der Gehölzbestände einher und ökologische Funktionen

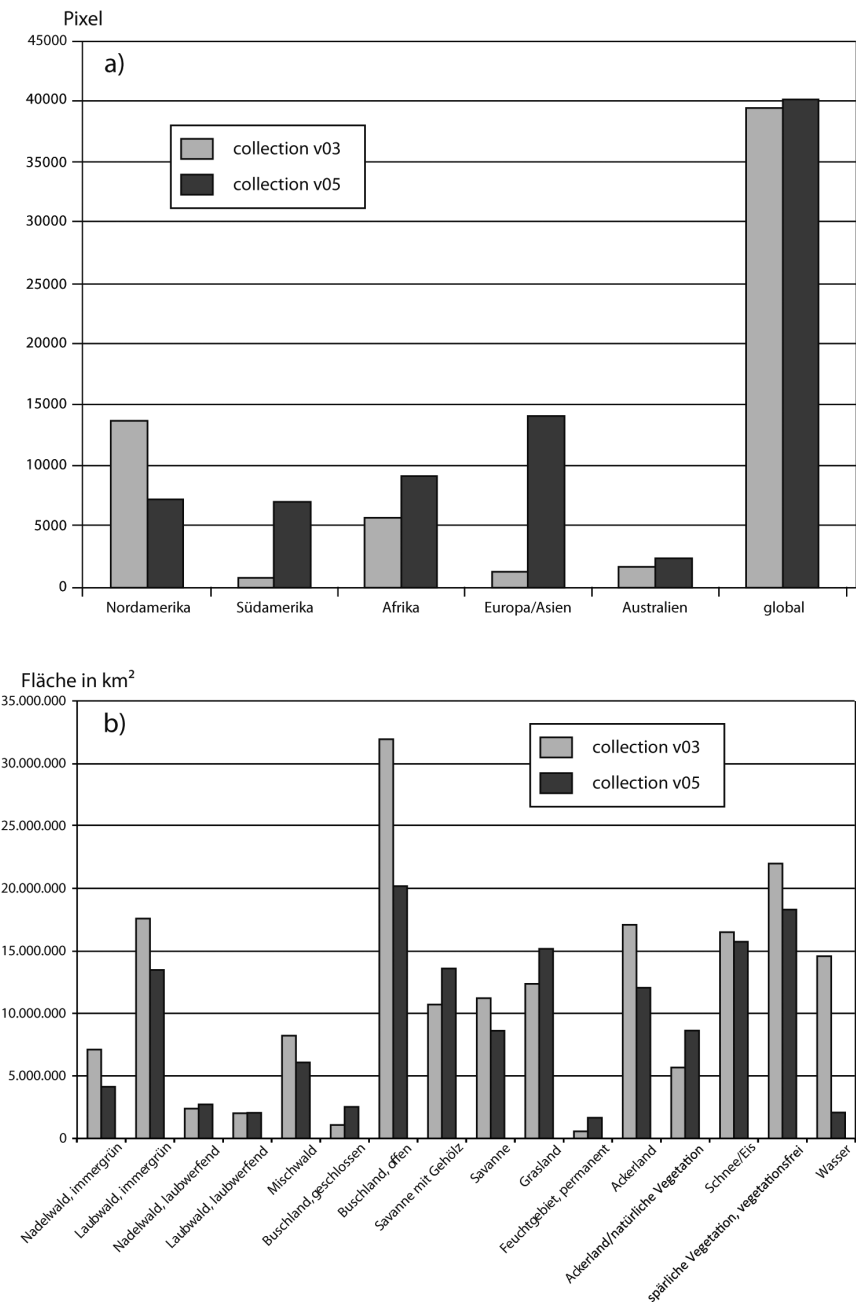


Abb. 2: Trainingsflächen zur Klassifizierung der Landklassen aus MODIS, bezogen auf die globale Verteilung (a) und auf die IGBP-Landklassen (b) (nach FRIEDL et al. 2010). v03 und v05 bezeichnen die Version des verwendeten Algorithmus.

und Ökosystemdienstleistungen hängen von der Gehölzdichte bzw. Gehölzstruktur ab (SAMIMI & KRÜGER 2006). Auf der einen Seite gehen die Gehölzbestände in den Regenwäldern und Savannenökosystemen teilweise dramatisch zurück (FAO 2003; KRAUS 2008; SAMIMI & KRÜGER 2006), im südlichen Afrika kommt es hingegen durch Übernutzung zu starken Verbuschungserscheinungen (DE KLERK 2004). Gründe für den Umweltwandel sind vor allem die Feuerholznutzung und Holzkohleproduktion, sowohl für den Eigenbedarf als auch den regionalen und globalen Markt, die Ausdehnung landwirtschaftlicher Nutzflächen, Überweidung, die Abholzung des Regenwaldes und eine anthropogene Erhöhung der Feuerfrequenz (FAO 2003; SAMIMI 2007; UNEP 2006).

Die Notwendigkeit des Monitorings von Veränderungen bzw. der Quantifizierung von Ökosystemparametern ist damit von entscheidender Bedeutung für Fragen des Landmanagements, der nachhaltigen Ressourcennutzung und als Eingabeparameter in ökologische Modelle. Nach den oben diskutierten Validierungen haben Produkte auf globaler Maßstabsebene nur eine teilweise akzeptable Qualität. Vor diesem Hintergrund soll anhand von drei Beispielen aus zwei Regionen im subsaharischen Afrika gezeigt werden, wie mit Fernerkundungsdaten Ökosystemparameter auf regionaler Maßstabsebene quantifiziert werden. Ausgehend von diesen Resultaten erfolgte eine Bewertung von Satellitenbildprodukten auf regionalem Maßstab.

2 Verbuschung und Feuer in Nordwestnamibia

2.1 Verbuschung

Grundlage für die Modellierung der Verbuschung sind ausgedehnte Geländearbeiten in einem Gebiet, das von der Grenze des Skeleton Coast Nationalparks im Westen bis an die Ostgrenze des Etosha-Nationalparks reicht (WAGENSEIL 2008). Neben NOAA-AVHRR- und SPOT VEGETATION-Daten standen drei Landsat-ETM-Szenen aus dem Jahr der Geländearbeiten zur Verfügung. Die Landsat-Daten dienten zum Upscaling der Geländedaten auf die Auflösung von AVHRR und SPOT VEGETATION. Da es bei den Untersuchungen nur um die Frage der Verbuschungsdynamik ging, erfolgte auf den Testflächen, die eine Größe von 100 m x 100 m hatten und von gleichartiger Vegetation umschlossen waren, eine Einteilung der Gehölzdeckung in diskrete Prozentschritte von 15 %. Mit einer Partial Least Squares Regression (PLS) mit den Landsat-Daten, unter Einbeziehung von sechs Bändern, dem NDVI und Tasseled Cap Greenness sowie Brightness, ergab sich ein hoch signifikantes R^2 von 0,87 für den Zusammenhang zwischen den PLS-Faktoren und der Gehölzdichte. Das Ergebnis wurde mit der Leave-One-Out-Methode kreuzvalidiert und ist statistisch gut abgesichert

(WAGENSEIL & SAMIMI 2007). Damit steht für die weiteren, auf niedriger auflösenden Daten beruhenden Analysen ein Modell zur Bewertung der Ergebnisse zur Verfügung.

Ein Versuch, über die häufig verwendete Fourier-Transformation von AVHRR NDVIs zu einer Klassifikation der Vegetation im Etosha-Nationalpark zu kommen, schlug fehl (WAGENSEIL & SAMIMI 2006). Die Variabilität der Niederschläge der Regensaisons 1993/94 und 1994/95 war so groß, dass die Vegetation völlig gegensätzlichen Klassen zugeordnet wurde. So gab es weite Bereiche im Nationalpark, die 1993/94 als Shrub Savanna klassifiziert waren und ein Jahr später als Tree Savanna (WAGENSEIL & SAMIMI 2006, 3466). Betrachtet man die NDVIs für verschiedene Oberflächenklassen, liegt der für blanken Boden im Jahr 1993/94 nahe dem des Graslands im Jahr 1994/95 und der für Grasland im Jahr 1993/94 höher als der NDVI für Strauch- und Baumsavanne in der Saison 1994/95 (WAGENSEIL & SAMIMI 2006, 3463). Ein Vergleich mit einer für den Etosha-Nationalpark existierenden Karte bestätigt das unbefriedigende Klassifikationsergebnis.

Bei der Betrachtung des NDVI-Verlaufs fällt aber auf, dass die Gehölzdichte einen maßgeblichen Einfluss auf die Charakteristik der Kurvenparameter hat (siehe Abb. 3). Bei Vegetationseinheiten mit höherer Gehölzdichte liegen die Kurvenminima und -maxima enger zusammen. Dies ist auf die Tatsache zurückzuführen, dass Gehölze schon vor dem Einsetzen der Niederschläge ergrünen und auch nach dem Ende der Regenzeit ihr Laub noch einige Zeit behalten bzw. es sogar nicht komplett abwerfen (SCHOLES & WALKER 1993). Das letzte Phänomen ist auch dafür verantwortlich, dass das Minimum des NDVI bei Gehölzvegetation höher liegt als bei Flächen mit einer niedrigen Gehölzdeckung (siehe Abb. 3). Die Eigenschaften der NDVI-Kurven sind mit einem Polynom 2. Ordnung beschreibbar (siehe Gleichung 1). Die aus dem Polynom abgeleiteten Parameter a , b und c gehen in eine multiple Regression ein, wobei nur die Parabelbreite b und das Minimum des NDVI a als Prädiktoren in die multiple Regression eingehen. Die Kreuzvalidierung des Modells ergibt ein hoch signifikantes R^2 von 0,76, die Gehölzdeckung ist also mit dem Modell statistisch abgesichert modellierbar (WAGENSEIL & SAMIMI 2006).

Gleichung 1: $y = a + b \cdot (x + c)^2$

Vergleicht man nun die Klassifikation der Gehölzdichte für den Zeitabschnitt 1998–2003 nach WAGENSEIL & SAMIMI (2006) und WAGENSEIL (2008) mit dem MODIS Landcover Product v05 für das Jahr 2008 und dem GLOBCOVER 2009, fallen beträchtliche Unterschiede auf (siehe Abb. 4). Die Gehölzdichte nimmt mit dem zunehmenden Niederschlag von der Küste nach Nordosten zu (siehe Abb. 4, a). Im Nordosten Namibias und im südlichen Angola ist ein halbim-

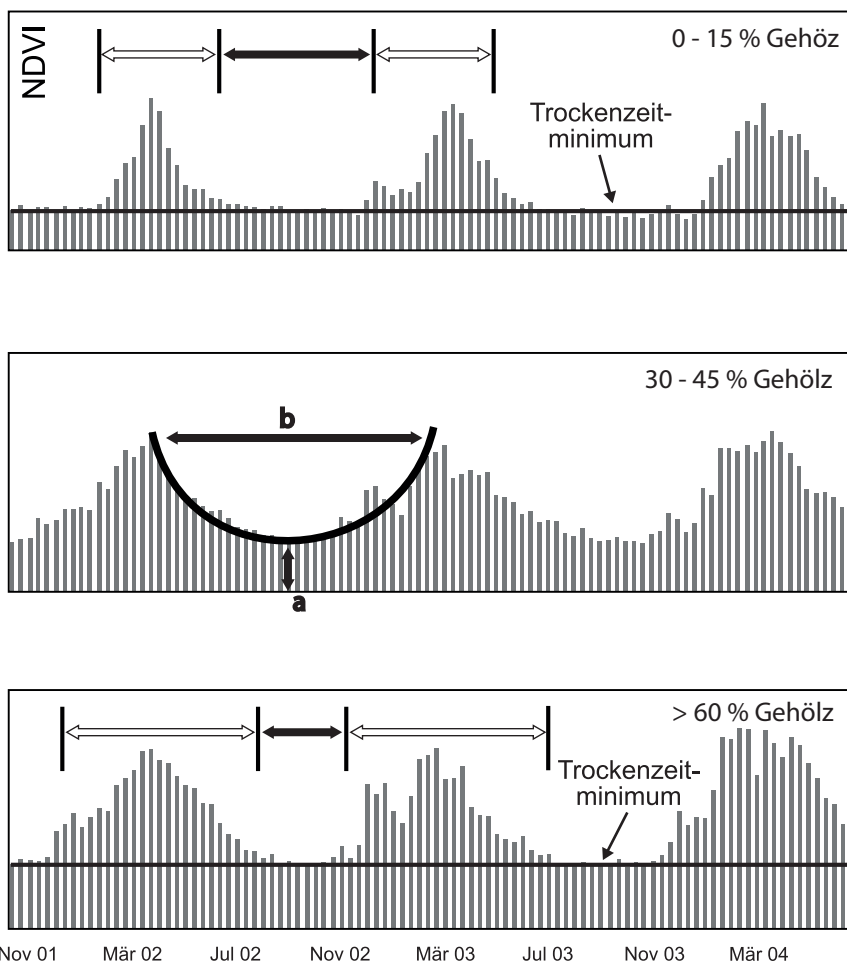


Abb. 3*: Charakteristik des saisonalen Verlaufs des NDVI für Savannen mit unterschiedlichen Gehölzdeckungen in Nordnamibia und Parameter zur Beschreibung der NDVI-Kurven

mergrüner Trockenwald ausgebildet (Gehölzdichte $> 60\%$), der neben *Brachystegia*-Arten auch *Baikiaea plurijuga* (Zambeziteak) und *Pterocarpus angolensis* beheimatet. Sowohl im MODIS-Produkt als auch in GLOBCOVER 2009 ist dieser Trockenwald als Savanne falsch klassifiziert. Insgesamt fällt in beiden Klassifikationen das Übergewicht an Grasland und Savanne auf. Dies widerspricht den Ergebnissen von WAGENSEIL & SAMIMI (2006) und WAGENSEIL (2008) und auch der Tatsache der für Namibia beschriebenen Verbuschungsproblematik (DE KLERK 2004). Neben der Überrepräsentanz von Grasland/Savanne fällt als gravierende Fehlklassifikationen noch das Buschland im Südosten des Bildausschnitts auf (siehe Abb. 4, b). In dieser Region liegen die Niederschläge schon

teilweise bei unter 100 mm und damit im Bereich von Wüsten und Halbwüstenvegetation mit fehlender bis sehr geringer Gehölzdeckung. In GLOBCOVER 2009 ist der Ostteil der Etosha-Pfanne nicht klassifiziert worden (siehe Abb. 4, c). Diskutiert sind nur die gravierenden Fehlklassifikationen, wobei bei guter Kenntnis der Region im Detail weitere Unstimmigkeiten angeführt werden können.

2.2 Feuer

Auch für das MODIS-Feuerprodukt liegen aus dem Jahr 2003 für Nordnamibia Validierungen im Gelände vor. Sie zeigen, dass große in MODIS ausgewiesene Feuerflächen falsch klassifiziert wurden (siehe Abb. 5). Insbesondere zwei ausgedehnte Flächen nördlich und südwestlich der Etosha-Pfanne haben nicht gebrannt, wie Geländebegehungen zeigen konnten. Auch kleinere Gebiete südlich und östlich der Pfanne waren 2003 nicht von Feuer betroffen. Alle anderen Gebiete wurden hingegen richtig klassifiziert.

3 Blattflächenindex in Ostafrika

Der Blattflächenindex (LAI) ist eine ökologische Schlüsselgröße, da die Blattfläche bei Stoffflüssen in Vegetationsbeständen eine zentrale Rolle spielt (KRAUS 2008). Saisonale, aber auch strukturelle Veränderungen sind wiederum in Veränderungen des LAI ablesbar. Daher ist für das Verständnis vieler ökophysiologischer Prozesse und der Dynamik von Vegetationsbeständen die Kenntnis der raum-zeitlichen Veränderung des LAI wichtig. Die exakte Erfassung des LAI im Gelände stellt eine große Herausforderung dar und als Konsequenz davon auch die Quantifizierung des LAI mittels Fernerkundungsdaten und die Validierung dieser Daten (KRAUS 2008).

Wegen des rasanten Verlusts und der gravierenden Veränderungen von tropischen Regenwäldern sowie ihrer globalen ökologischen Bedeutung liegt ein großes Augenmerk auf der Erfassung von Regenwaldstrukturen. In Ostafrika sind nur noch Reste der ehemals weiter verbreiteten halbbimmergrünen Regenwälder erhalten (KRAUS 2008). Durch den starken anthropogenen Einfluss und ihrer Lage in intensiv landwirtschaftlich genutzten Regionen sind sie besonders gefährdet und zeichnen sich deshalb auch durch eine große Heterogenität aus. Neben Primärwaldresten finden sich verschiedene Stadien von Sekundärwäldern, aber auch Auflichtungen und ein starkes Auftreten von Neophyten (KRAUS 2008). Sie sind deshalb auch gut geeignet, das MODIS LAI-Produkt (v05) zu validieren. Die Untersuchungen fanden im Budongo Forest (Uganda) und Kagamega Forest (Kenia) statt.

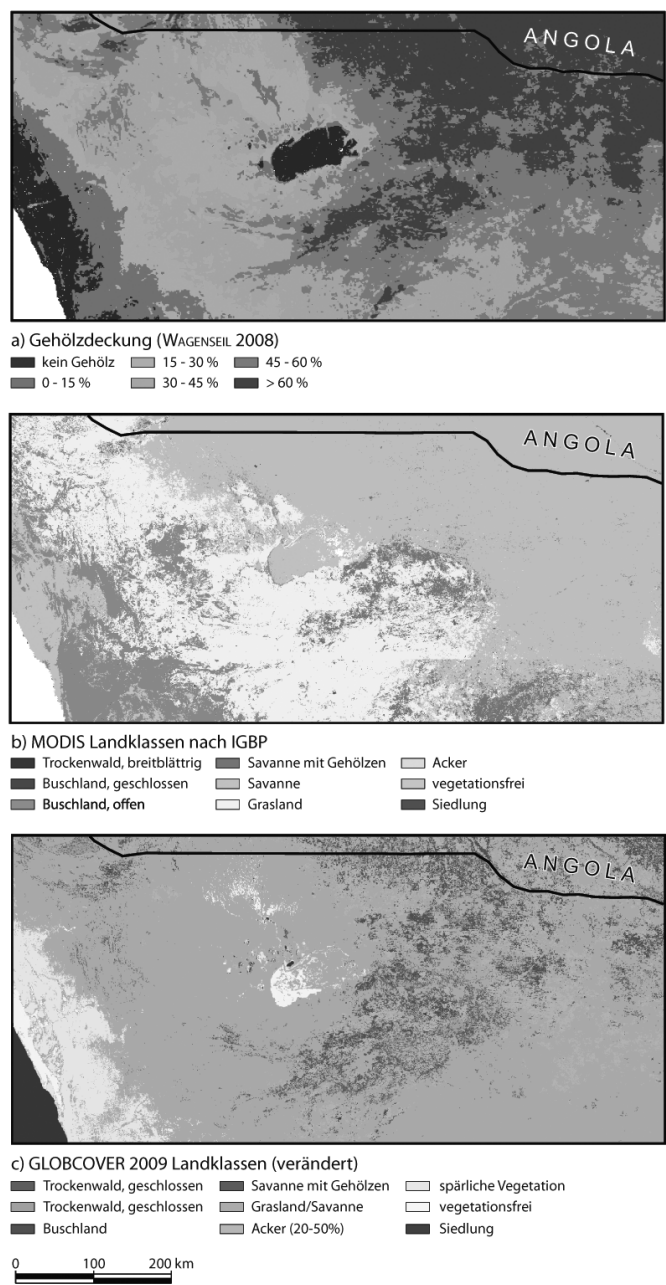


Abb. 4*: Vergleich von Klassifikationen der Landbedeckung in Nordnamibia

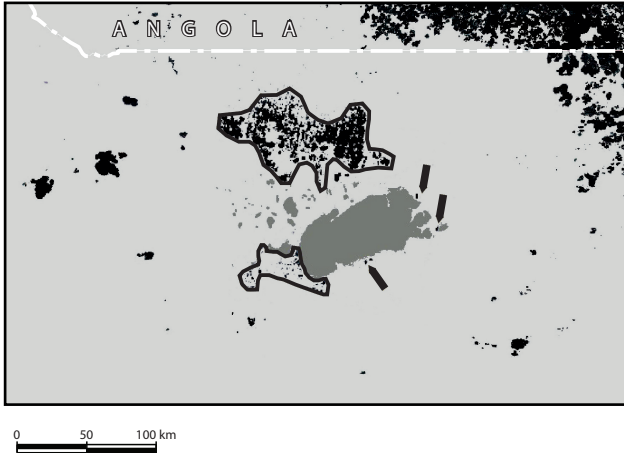


Abb. 5*: Vergleich von Brandflächen gemäß des MODIS-Feuerprodukts im Jahr 2003 und tatsächliche Brandflächen. Gelbe Umrahmungen und Pfeile markieren Flächen, die 2003 nicht gebrannt haben, aber im MODIS-Feuerprodukt als Brandflächen ausgewiesen sind.

Wie in Namibia basiert die Validierung auf ausgedehnten Geländearbeiten, bei denen der LAI mithilfe von Kronenfotos und Messungen mit dem Licor LAI-2000 erfasst wurde und die Ergebnisse statistisch abgesichert wurden (KRAUS 2008, KRAUS et al. 2009). Um die MODIS-Daten mit den Geländebefunden zu verknüpfen, ist ein Upscaling notwendig. Hierzu standen SPOT-4- und ASTER-Daten zur Verfügung.

Wie oben geschildert sind die Wälder durch unterschiedliche Degradations-/Regenerationsstadien charakterisiert, die sich in drei Kategorien – frühe und mittlere Regenerationsphase und ungestört – einteilen lassen. Der Mittelwert des LAI der mittleren Phase (Kagamega: 5,1; Budongo: 6,3) und des ungestörten Waldes (Kagamega: 5,9; Budongo: 6,1) unterscheiden sich kaum. Der ungestörte Wald zeichnet sich aber durch eine deutlich höhere Variabilität des LAI aus. Dies ist auf die im Vergleich zur mittleren Phase heterogenere Kronenstruktur des Primärwaldes zurückzuführen (KRAUS 2008). Die frühe Regenerationsphase hat mit 2,7 (Kakamega) und 3,4 (Budongo) einen signifikant niedrigeren LAI. Statistisch abgesicherte Zusammenhänge zwischen den Geländewerten des LAI und den hoch auflösenden Satellitendaten ergaben sich mit spektralen Indizes und Texturparametern. Die deutlichsten Zusammenhänge ergeben sich mit der einfachen Ratio des roten und nahen Infrarotkanals (siehe Abb. 6). Die Theil-Sen-Regression kam zum Einsatz, da sie robuster gegen Ausreißer ist als die OLS-Regression. LAI-Werte über 5 sind mit der Ratio nicht sauber trennbar, vor allem lassen sich wegen der geringen Unterschiede der Mittelwerte der mittleren Regenerationsphase und des ungestörten Waldes diese beiden Kategorien nicht trennen (siehe Abb. 6 a). Die oben schon diskutierte größere Varianz der ungestörten

Wälder hat aber eine höhere Textur, also eine größere Grauwertvarianz im Satellitenbild zur Folge. Diese Tatsache ist über die Varianz in der Grey Level Co-Occurrence Matrix (GLCM) erfassbar (siehe Abb. 6 b). Über die Kombination der beiden Regressionen lässt sich aus den hoch auflösenden Satellitenbildern der LAI nun für alle Regenwaldstadien ableiten. Die errechneten LAI-Werte haben einen Root Mean Square Error (RMSE) von 0,64 im Budongo Forest und 0,83 im Kakamega Forest. Diese RMSE bedeuten einen Fehler von 11 % bzw. 16 %. Mit den hoch aufgelösten LAI-Datensätzen lässt sich im Weiteren das MODIS LAI-Produkt validieren. Für den Budongo Forest liegt die relative Genauigkeit bei 9 % (RMSE = 0,53) und für den Kakamega Forest bei 25 % (RMSE = 1,5). Damit kann das MODIS-Produkt als valide eingestuft werden.

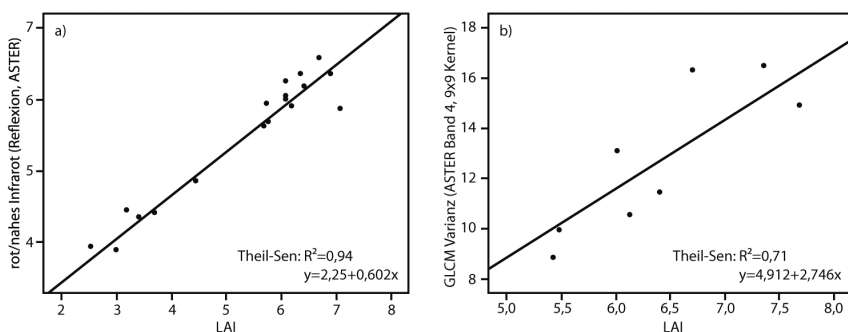


Abb. 6: Regressionen zur Quantifizierung des LAI über ASTER Daten

4 Fazit

Satellitendaten und daraus abgeleitete Produkte sind für das Monitoring ökologischer Dynamik und bei der Quantifizierung von Ökosystemparametern unabdingbar. Wie anhand aufwendiger Validierungen auf regionaler Maßstabsebene gezeigt werden konnte, haben die abgeleiteten Parameter, seien es Landbedeckungsklassen oder LAI-Werte, sehr unterschiedliche Qualitäten und genügen trotz verstärkter Bemühungen um die Weiterentwicklung der Algorithmen auf einer lokalen oder regionalen Maßstabsebene oft nicht den notwendigen Ansprüchen an die Genauigkeit. Die Konsequenz müssen weitere Validierungen und ein vorsichtiger Umgang mit Standardprodukten sein. Da die Inhalte verschiedener Produkte neben der fehlerhaften Klassifikation teilweise erheblich voneinander abweichen, ist ein Vergleich verschiedener Produkte dringend angeraten.

Weiterhin müssen nach einer Weiterentwicklung von Algorithmen auch Archivdaten reprozessiert werden. Positive Beispiele sind in diesem Kontext das

MODIS-Programm und die derzeit laufende ESA-Initiative zu essenziellen Klimavariablen (Essential Climate Variables der ESA Climate Change Initiative). Nur so können Zeitserien von Produkten auch wissenschaftlich sinnvoll eingesetzt werden.

Literatur

- CAMPBELL J.B. (2006): Introduction to Remote Sensing. London/New York.
- ESA (2011): Ionia GlobCover. <http://ionia1.esrin.esa.int> (07.01.2011)
- FAO (2003): State of the World's Forests 2003. Rom.
- FRIEDL M. A., SULLA-MENASHE D., TAN B., SCHNEIDER A., RAMANKUTTY N., SIBLEY A. & HUANG X. (2010): MODIS Collection 5 global land cover: Algorithm refinements and characterization of new datasets. In: Remote Sensing of Environment 114: 168–182.
- DE KLERK J. (2004): Bush Encroachment in Namibia. Report on Phase 1 of the Bush Encroachment Research, Monitoring and Management Project. Windhoek.
- KRAUS T. (2008): Ground-based Validation of the MODIS Leaf Area Index Product for East African Rain Forest Ecosystems. Dissertation an der naturwissenschaftlichen Fakultät der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. Erlangen.
- KRAUS T., SCHMIDT M., DECH S. & SAMIMI C. (2009): Combination of remote sensing and in situ measurements for a detailed assessment of biophysical properties of East African rainforests: A case study for Kakamega Forest, Kenya, and Budongo Forest, Uganda. 2009 IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium, July 12–17, 2009, Cape Town (South Africa), Symposium Proceedings, III: 326–329. (online and CD-ROM)
- LP DAAC (2009): MODIS Products Table. https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/products/modis_products_table (7.1.2011)
- NASA (o.J.): Warehouse Inventory Search Tool (WIST). <https://wist.echo.nasa.gov> (11.12.2010)
- SAMIMI C. & KRÜGER F. (2006): Miombo – ökologische und soziale Veränderungen im größten Trockenwald der Erde. Geographische Rundschau 58(10): 40–47.
- SAMIMI C. (2007): Umweltdegradation und Ressourcenschutz im südlichen Afrika. In: Hüser, K. & H. Popp (Hrsg): Ökologie der Tropen. Bayreuther Kontaktstudium Geographie, Bd. 4, 45–59.
- SCHOLES R. & WALKER B. (1993): An African Savanna: Synthesis of the Nylsvley Study. Cambridge.
- UNEP (2006): Africa Environment Outlook 2. Nairobi.
- WAGENSEIL H. (2008): Savannen im Satellitenbild: Ein Ansatz zur Modellierung von Gehölzdichte und Verbuschung in Namibia. Dissertation an der naturwissenschaftlichen Fakultät der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. Erlangen.
- WAGENSEIL H. & SAMIMI C. (2006): Assessing spatio-temporal variations in plant phenology using Fourier analysis on NDVI time series: Results from a dry savannah environment in Namibia. International Journal of Remote Sensing 27(16): 3455–3471.
- WAGENSEIL H. & SAMIMI C. (2007): Woody Vegetation Cover in Namibian Savannas: A Modelling Approach Based on Remote Sensing. Erdkunde 61(4): 325–334.
- WHITE F. (1983): The vegetation of Africa. Paris.

Heinz Fassmann / Thomas Glade (Hg.)

Geographie für eine Welt im Wandel

57. Deutscher Geographentag 2009 in Wien

Farbabbildungen

[URL: www.v-r.de/data/files/389971912/Farbabbildungen.pdf]



V&R unipress, Göttingen 2012

ISBN 978-3-89971-912-3

Beitrag Cyrus Samimi/ Johan Le Roux/Hendrik Wagenseil /Tanja Kraus

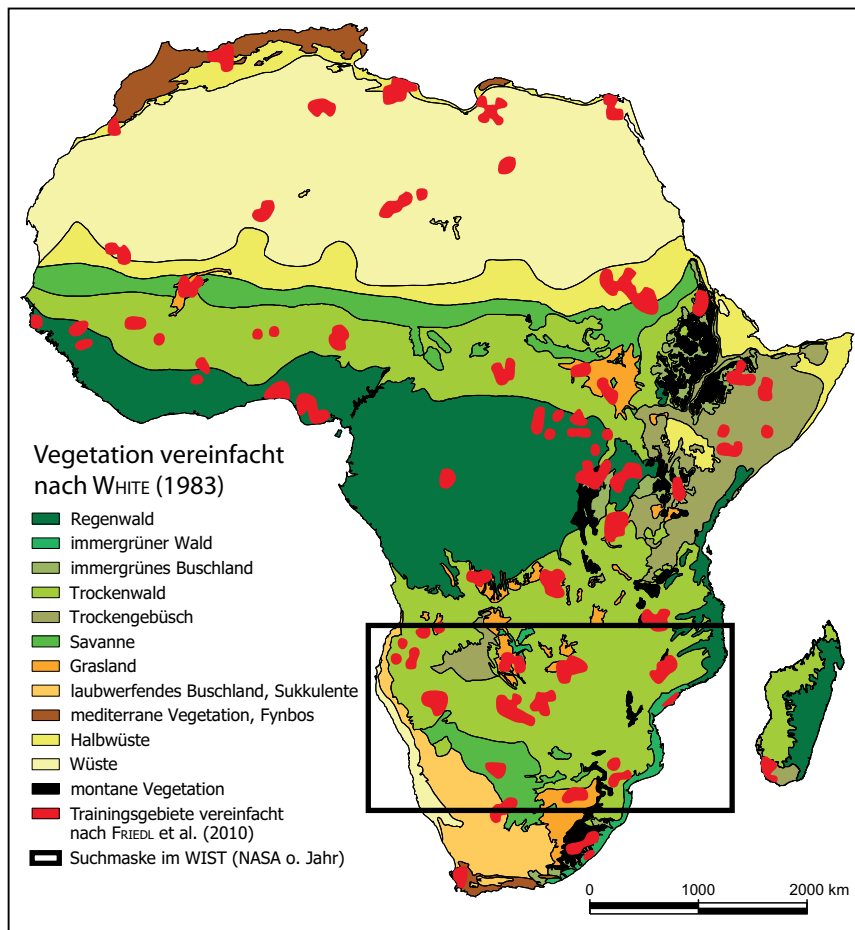


Abb. 1: Trainingsflächen zur Klassifizierung der Landklassen des MODIS-Produkts v05 in Afrika (nach FRIEDL et al. 2010) und Beispielsuchmaske im WIST

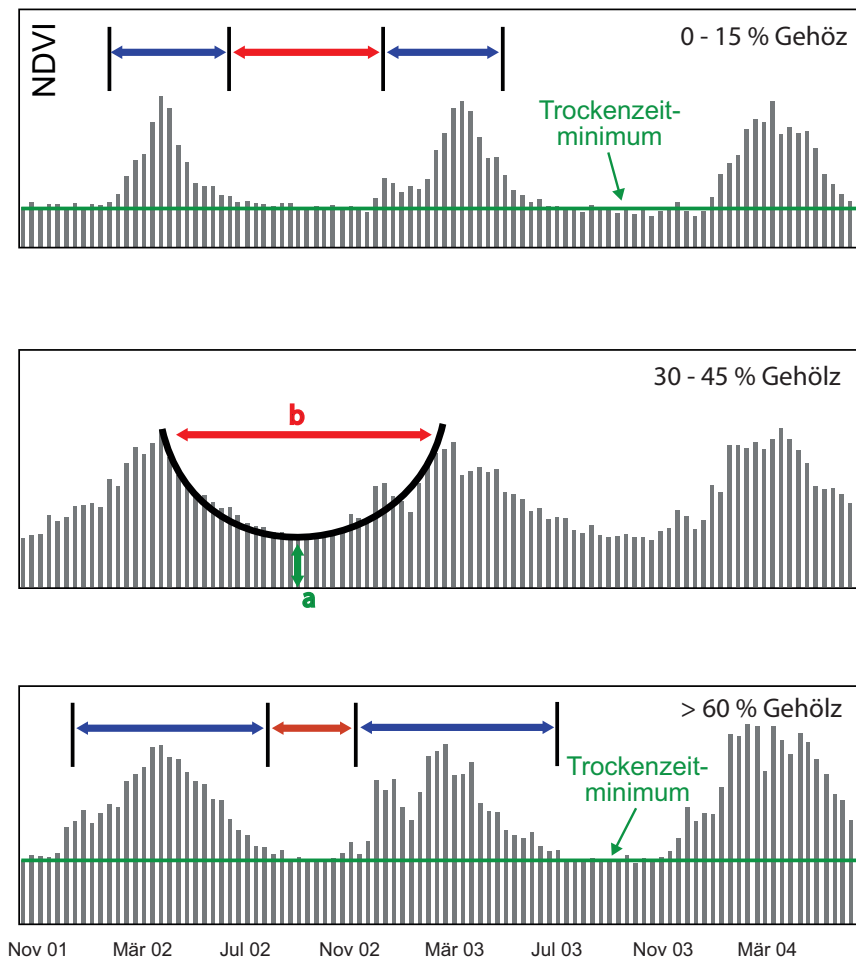


Abb. 3: Charakteristik des saisonalen Verlaufs des NDVI für Savannen mit unterschiedlichen Gehölzdeckungen in Nordnamibia und Parameter zur Beschreibung der NDVI-Kurven

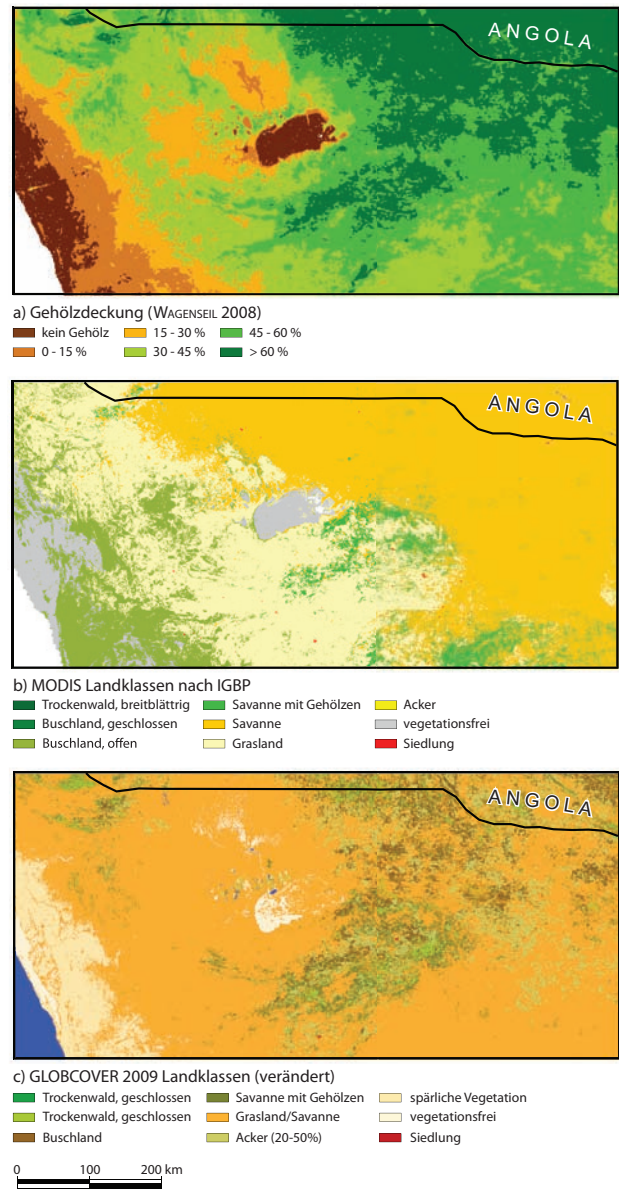


Abb. 4: Vergleich von Klassifikationen der Landbedeckung in Nordnamibia

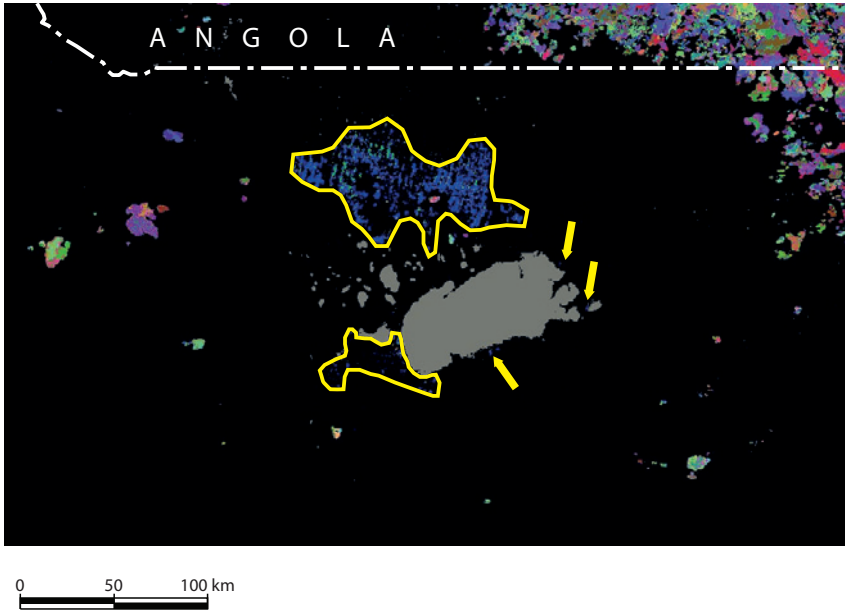


Abb. 5: Vergleich von Brandflächen gemäß des MODIS-Feuerprodukts im Jahr 2003 und tatsächliche Brandflächen. Gelbe Umrahmungen und Pfeile markieren Flächen, die 2003 nicht gebrannt haben, aber im MODIS-Feuerprodukt als Brandflächen ausgewiesen sind.